

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



## **Previsão de consumo de eletricidade de uma comunidade rural: caso de estudo Sidonge, Quénia**

Pedro Teles Silva Marques Santos

**Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e Ambiente**

Versão Pública

Dissertação orientada por:  
Miguel Centeno Brito (FCUL)  
Bruno Lopes (RVE.SOL)



## **Agradecimentos**

A realização desta dissertação de mestrado é fruto de incontáveis horas de trabalho e da colaboração de inúmeras pessoas. Como se trata do meu trabalho académico mais importante, não posso deixar de agradecer a quem me orientou e me ajudou durante todo o processo.

Em primeiro lugar quero agradecer ao meu orientador, professor Miguel Brito, por todas as sugestões, discussões e correções que me disponibilizou ao longo de inúmeros meses.

Em segundo lugar, a toda a equipa da empresa RVE. SOL, sem a qual não conseguiria ter realizado esta dissertação. Ao Bruno Lopes, pelo apoio, disponibilidade e por ser o meu “orientador” dentro da empresa. Ao Ricardo Santos e à Ana Rita Serralheiro pela partilha de ideias e informação essenciais ao enquadramento do meu trabalho. Por fim ao Vivian Vendeirinho, que apesar de não ter conhecido pessoalmente, me permitiu estar presente nas instalações da empresa.

Um especial obrigado aos meus pais por me fazerem ver que o estudo académico é uma das etapas mais importantes da vida e por me terem perguntado todos os dias quando acabava a dissertação.

À minha irmã, avós e restante família, por estarem sempre presentes ao longo da minha vida sempre que eu precisei.

Ao meu grupo de amigos, que sempre estive comigo ao longo de toda a minha vida académica.

Por último, quero agradecer à Mónica por todos os bons e maus momentos partilhados ao longo destes anos e por me ter incentivado a terminar e entregar a dissertação.

## Resumo

Atualmente, no continente africano cerca de dois terços da população não dispõem de acesso a energia elétrica no seu dia-a-dia. Este problema é ainda mais acentuado nas áreas rurais onde é estimado que 86% da população não têm acesso a qualquer tipo de forma de eletricidade. O acesso à energia elétrica é diretamente associado a uma panoplia de benefícios, tais como melhores cuidados médicos, melhor educação, melhor qualidade de vida, etc., que fomentam o levantamento destas zonas rurais da pobreza extrema.

A melhor solução, atualmente, para a difusão da eletrificação rural, é a implementação de mini-redes nas comunidades rurais. As mini-redes são de rápida implementação, baixo custo, longa duração, extremamente adaptáveis e podem ser fornecidas exclusivamente por fontes de energia renováveis.

Para além do problema do financiamento, o grande obstáculo para a implementação de mini-redes *off-grid* em todo o continente africano é o desafio do dimensionamento para as comunidades onde são implementadas. Em muitos casos, as necessidades dos habitantes das zonas rurais no que toca ao consumo energético podem ser sub ou sobrestimadas.

Este problema é abordado nesta dissertação, onde se explora uma metodologia para uma previsão de consumo energético para uma comunidade rural da África subsariana, de forma bem-sucedida e o mais próximo da realidade possível.

Em conjunto com a empresa RVE. SOL, a metodologia desenvolvida na dissertação é colocada em prática para um caso real. Através da comparação com os dados de consumo reais da comunidade de Sidonge, Quénia, é possível avaliar a viabilidade do método e a sua eficácia. O perfil de consumo diário obtido através da metodologia desenvolvida é analisado, com um perfil criado com uma ferramenta alternativa, *LoadProGen*.

Em pleno século XXI é impressionante o quanto ainda falta perceber sobre as comunidades rurais da África subsariana. Esta dissertação pretende aumentar o conhecimento sobre as mini-redes *off-grid* desenvolvidas para estas comunidades rurais e melhorar as abordagens utilizadas na previsão de consumo energético das mesmas.

### Palavras-Chave:

África subsariana, eletrificação rural, mini-redes *off-grid*, previsão de consumo energético, energias renováveis.

# Abstract

Currently, in the African continent two-thirds of the population do not have access to electricity in their day to day. This problem is even more pronounced in rural areas where it is estimated that 86% of the population does not have access to any form of electricity. Access to electricity is directly associated with a panoply of benefits, such as better medical care, better education, better quality of life, etc., which encourage the removal of these rural areas from extreme poverty.

The best solution for the diffusion of rural electrification is the implementation of mini-grids in rural communities. The mini-grids are fast-paced, low-cost, long-lasting, very adaptable and can be supplied exclusively by renewable resources.

Besides its costs, the major obstacle to the implementation of off-grid mini-grids throughout the African continent is the poor development of the same for the communities where they are implemented. In many cases, the needs of rural inhabitants for energy consumption are under or overestimated.

This problem is addressed in this dissertation, which explores a methodology for a forecast of energy consumption for a rural community in sub-Saharan Africa, in a very successful way and as close to reality as possible.

Together with the company RVE. SOL, the methodology developed in the dissertation is put into practice for a real case. By comparing with actual consumption data from the community of Sidonge, Kenya, it is possible to evaluate its viability and effectiveness. The load profile is also modelled using *LoadProGen*.

In the midst of the twenty-first century, it is striking how much remains to be understood about rural communities in sub-Saharan Africa. This dissertation intends to increase the knowledge about the off-grid mini-grids developed for these rural communities and to improve the approaches used in forecasting their energy consumption.

## Keywords:

Sub-Saharan Africa, rural electrification, off-grid mini-grids, energy consumption forecast, renewable energy.

## Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	iv
Abstract .....	v
Índice de Figuras .....	vii
Simbologia e Notações.....	viii
Capítulo 1 - Introdução.....	9
1.1. Motivação.....	9
1.2. Objetivos .....	12
1.3. Estrutura da Dissertação.....	12
Capítulo 2 - Estado de Arte .....	14
2.1. Caracterização de uma Mini-Rede <i>Off-Grid</i> na África Subsariana.....	14
2.1.1. Componentes de uma Mini -Rede <i>off-grid</i> .....	16
2.1.2. Alternativas às Mini-redes <i>off-grid</i> .....	17
2.2. Métodos de previsão de consumo energético.....	20
2.3. Práticas de previsão de consumo energético .....	22
2.3.1. Powerhive.....	22
2.3.2. POWERGEN.....	23
2.3.3. SteamaCo .....	23
2.3.4. Rafiki Power.....	23
2.3.5. RVE.SOL .....	24
Capítulo 3 - Conclusões e Desenvolvimentos Futuros.....	26
3.1. Conclusões .....	26
3.2. Desenvolvimentos Futuros .....	28
Referências Bibliográficas .....	30

## Índice de Figuras

Figura 1.1 - Percentagem de população sem acesso a eletricidade em África [1]. ....	10
Figura 2.1 – Comparação entre rede elétrica de país desenvolvido e em desenvolvimento [15]. ....	14
Figura 2.2 - Exemplo dos constituintes de uma Mini-Rede <i>Off Grid</i> [21]. ....	17
Figura 2.3 - Exemplos de Lanterna Solar Portátil e sistema <i>pico-solar</i> [23], [24]. ....	18
Figura 2.4 - Exemplo de Sistema Solar doméstico (SHS) [25] ....	19
Figura 2.5 - Exemplo de um Sistema de geração PV “ <i>PowerBox</i> ” em Nkoilale, Quênia [39]. ....	23
Figura 2.6 - Quiosque de venda de Eletrodomésticos criado pela Rafiki Power, Tanzânia [42]. ....	24
Figura 2.7 - Sistema Kudura, instalado em Sidonge, Quênia. ....	25

## Simbologia e Notações

AIE	Agência Internacional de Energia
ATP	<i>Ability to pay</i> (Habilidade de pagar)
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CFL	<i>Compact fluorescent lamp</i> (Lâmpada fluorescente compacta)
CREQ	Comissão de Regulação de Energia do Quênia
GPS	Global Positioning System (Sistema global de posicionamento)
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (Díodo Emissor de Luz)
PAYG	<i>Pay as you go</i> (pagar à medida do consumo)
PEU	<i>Productive Energy Use</i> (Uso Produtivo de Energia)
PV	<i>Photovoltaic</i> (Fotovoltaico)
SHS	<i>Solar Home Systems</i> (sistemas solares domésticos)
SME	<i>Small and Medium Size Enterprise</i> (Médias e Pequenas Empresas)
SPL	<i>Solar Portable Lamp</i> (Lanterna solar portátil)
WTP	<i>Willingness to pay</i> (Disponibilidade para Pagar)



## Capítulo 1 - Introdução

### 1.1. Motivação

De acordo com a Associação Internacional de Energia, em 2014, mais de 620 milhões de pessoas (dois terços da população) na África subsariana não dispunham de acesso a eletricidade. É expectável que este valor aumente para cerca de 700 milhões até 2030 devido ao facto de a taxa de crescimento da população ser maior que a taxa de crescimento de eletrificação da região. Não obstante, previsões apontam a necessidade energética da África subsariana como uma das de maior crescimento a nível mundial, atingindo um valor de 1600 TWh em 2040 [1]. Ainda mais, é estimado que 86% da população atual que reside nas áreas rurais da África subsariana, não têm acesso a qualquer tipo de forma de eletricidade em contraste com 37% da população para áreas urbanas [2].

Para além de problemas ambientais e de saúde, estas zonas rurais não dispõem de estradas, água corrente e uma rede de fornecimento de eletricidade. Devido ao inadequado ou inexistente fornecimento de eletricidade estas comunidades apresentam-se claramente subdesenvolvidas, comparando com as áreas urbanas da África subsariana, quer em termos sociais quer económicos. Devido ao terreno e características políticas e sociais dos países africanos é impossível prever se nos próximos 10 anos a rede nacional chegue a estes locais. Historicamente a eletrificação rural tem sido feita através do aumento da rede tradicional, o que tem levado a uma negligência das zonas rurais que se encontram em zonas remotas. São nestas zonas que a eletricidade é necessária para colmatar necessidades básicas das comunidades tais como fornecimento de água, educação, saúde e telecomunicações. Ainda mais, a erradicação da pobreza extrema e educação básica de uma grande percentagem da população em zonas rurais são objetivos com os quais os governos da região, se comprometeram, mas que estão longe de ser cumpridos [3].

Como é demonstrado na Figura 1.1, à exceção da África do Sul, os setores energéticos dos países da região são caracterizados por uma reduzida taxa de acesso à eletricidade de habitações e infraestruturas públicas, quer através de rede pública, mini-redes provenientes do uso de geradores a *diesel* ou fontes de energia renovável. Prevê-se que cerca de 140 milhões de pessoas vão depender em 2040 de mini-redes para o fornecimento de eletricidade [4]. É na África subsariana que se encontram 19 dos 20 países com menor taxa de eletrificação [5].

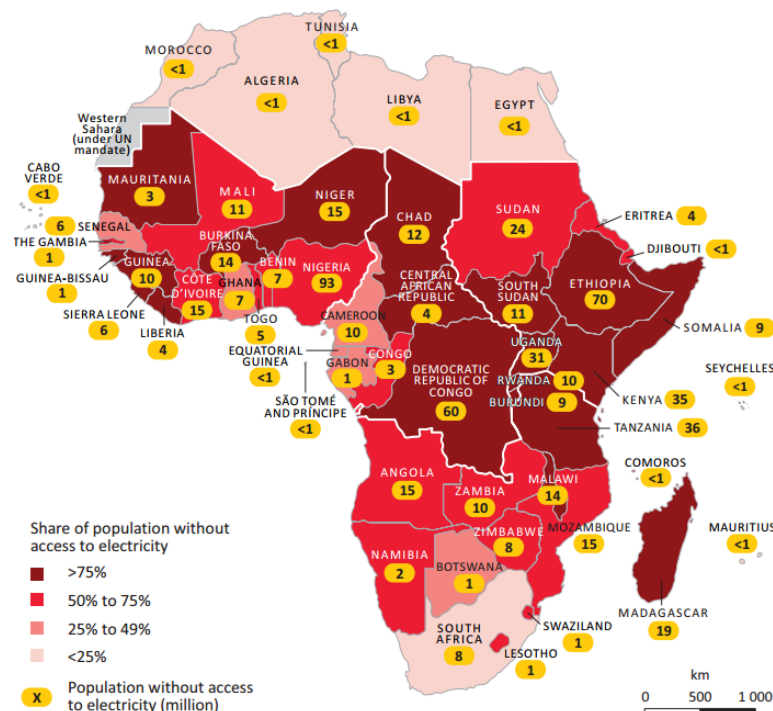


Figura 1.1 - Percentagem de população sem acesso a eletricidade em África [1].

É então de enorme importância o estudo e desenvolvimento de sistemas de mini-redes e sistemas não ligados à rede elétrica, com o intuito de reduzir a percentagem de pessoas em zonas rurais sem acesso à eletricidade. Enquanto se espera que nas zonas urbanas o número de pessoas com acesso à rede elétrica aumente através da forma tradicional (expansão da rede elétrica principal), em zonas rurais isto não se aplica, devido às enormes distâncias entre as populações que aqui habitam e as centrais de produção de eletricidade. É estimado que apenas 30% das zonas rurais que atualmente não apresentam ligação à rede elétrica, seriam mais bem servidas se se investisse na extensão da mesma até às zonas referidas. Assim, nos outros 70% seria melhor um investimento em mini-redes, já que os custos de investimento de um aumento da rede elétrica não seriam razoáveis devido às enormes distâncias e à topografia do terreno [6]. Estes números demonstram a enorme necessidade de investimento e desenvolvimento na eletrificação rural em particular em mini e micro-redes.

O aumento no consumo de energia na África subsariana tem vindo a ser relacionado com o crescimento económico, tanto para países desenvolvidos como para países em desenvolvimento, apesar de as causalidades serem incertas [7]. À parte de benefícios relacionados com o crescimento económico, o acesso à eletricidade também foi identificado como uma das peças fundamentais da educação, saúde e também da conexão entre a eletrificação rural e desenvolvimento rural [8].

A África subsariana dispõe de um enorme potencial para a produção de energia elétrica proveniente de fontes renováveis de forma descentralizada, que pode ser fundamental para resolver o problema de escassez de oferta de eletricidade, como também de acesso à eletricidade em zonas remotas. As mini-redes que utilizam energias renováveis com geradores a *diesel* como apoio, já demonstraram ser uma solução viável para eletrificar grandes comunidades em zonas rurais [9]. A utilização de *diesel*, soluções solares ou ambas para as mini-redes é já um tema amplamente estudado, apresentando as várias opções prós e contras [10]. Contudo, um projeto deste tipo poderá ser por vezes bastante complexo, uma vez que existem muitas variáveis a considerar.

Todos os projetos apresentam dificuldades e obstáculos característicos do sistema e da área onde vão ser implementados. Tipicamente são necessárias competências nas áreas de engenharia, gestão, finanças, política e interação com a comunidade local.

Um dos aspetos mais relevantes na implementação de mini-redes, em áreas rurais sem acesso à eletricidade, é prever as necessidades energéticas que os habitantes vão necessitar e/ou poder pagar no presente ou futuro próximo. A previsão do consumo energético é talvez o aspeto mais importante e o principal obstáculo ao desenvolvimento e viabilidade de mini-redes, baseadas no uso de energias renováveis na África subsaariana.

A previsão do consumo energético em países desenvolvidos, como em muitos outros casos, está muito mais desenvolvida e estudada do que em países considerados subdesenvolvidos, por um simples facto: o processo de eletrificação nos países designados desenvolvidos aconteceu no século XX enquanto em África este ainda se encontra na sua fase inicial. Existem milhões de pessoas na África subsaariana que não estão conectadas à rede elétrica, por exemplo, na Tanzânia apenas uma pequena percentagem das zonas rurais – cerca de 2% – apresenta acesso à eletricidade [11]. A previsão, demonstra assim, benefícios socioeconómicos que a eletrificação da área poderá representar, mas também as diretrizes para o *design*, viabilidade e implementação do sistema de fornecimento.

Existem três fatores que sublinham a importância da previsão do consumo energético em mini-redes: a dimensão do sistema de geração; o tipo de fonte de energia e os utilizadores finais. A respeito da dimensão do sistema elétrico, em zonas remotas, a necessidade energética é normalmente muito reduzida devido à densidade populacional ser também bastante reduzida. Normalmente existem poucos aglomerados populacionais relativamente perto uns dos outros. A fonte de energia é maioritariamente à base de geradores a *diesel* ou de fontes renováveis que são variáveis e imprevisíveis. Por fim, o utilizador final destas mini-redes em zonas remotas apresenta normalmente, baixos rendimentos e não apresenta qualquer tipo de experiência prévia como consumidor de energia, o que vai prejudicar bastante os esforços de previsão do consumo energético [12].

Em termos culturais podemos aferir que existem enormes obstáculos a uma previsão do consumo energético de qualidade já que os futuros consumidores nunca tiveram convivência com eletricidade. Por conseguinte, é necessário que os projetos apresentem também uma componente social de educação dos residentes da área. Uma boa instrução dos consumidores sobre como se devem comportar e como interagir com a rede elétrica pode evitar graves problemas que possam mais tarde surgir. Assim, desta forma será possível maximizar o desempenho da mini-rede dado que serão evitadas situações prejudiciais para a mesma, como más condutas por parte dos consumidores: deixar os eletrodomésticos ligados indefinidamente; utilização incorreta dos condutores elétricos; roubos de materiais; entre outras.

A questão da previsão do consumo energético encontra-se assim, ainda nos dias de hoje na sua infância, em termos de legislação e diretivas para as zonas rurais na África subsaariana, sendo assim esta, uma das razões pelas quais, o tema desta dissertação é tão importante e proeminente. Ainda assim, em alguns países, nomeadamente no Quênia onde se foca esta dissertação, já existem organismos e entidades que legislam a implementação e funcionamento de mini-redes elétricas [13].

## 1.2. Objetivos

Esta dissertação consiste na análise de dados recolhidos pela empresa RVE. SOL, sediada em Leiria, Portugal que atua na implementação de mini-redes *off-grid* na África subsariana. Através dos dados recolhidos numa das comunidades em que está presente desde 2011 (Sidonge, Quénia) é elaborado um método geral de análise de previsão de consumo energético. Os dados de consumo obtidos através deste método são posteriormente comparados com os dados reais, para determinar a viabilidade do mesmo. Ainda mais, é estudada a importância dos inquéritos e mudanças de tipos de eletrodomésticos usados pela população, com a variação das potências dos mesmos. São assim criadas duas hipóteses, que variam apenas na potência para os mesmos tipos de eletrodomésticos, para se entender qual se encontra mais perto da realidade.

Esta dissertação, apesar de serem referidos outros países da África subsariana, é baseada maioritariamente no Quénia já que é neste país, que se irá realizar o estudo de previsão do consumo energético em parceria com a empresa RVE.SOL. Através de dados providenciados pela RVE.SOL sobre uma das mini-redes que opera no Quénia, é possível apresentar os requisitos necessários para uma previsão do consumo energético, para uma comunidade específica numa zona remota do Quénia, na África subsariana.

Para além do objetivo principal, é ainda aprofundada a definição e os componentes para uma mini-rede *off-grid* na África subsariana e analisados os métodos de previsão de consumo históricos, utilizados atualmente por empresas no terreno. É ainda utilizado uma ferramenta de *software* – *LoadProGen* – para comparar os diagramas de consumo obtidos no método, com os obtidos por uma ferramenta computacional.

## 1.3. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação apresenta-se dividida em 5 capítulos. A mesma contém vários subcapítulos com o intuito de simplificar a organização do documento, de modo a facilitar a leitura da informação aqui presente. O capítulo introdutório passa pela motivação por trás desta dissertação, tal como os objetivos do estudo da mesma.

Seguidamente, no estado de arte, é apresentado a descrição de uma mini-rede *off-grid* e os seus componentes. Para além disso, no segundo capítulo são apresentados e revistos os métodos e as práticas históricas e atuais, tal como, algumas das empresas mais proeminentes que realizam previsões de consumo energético na África subsariana.

No terceiro capítulo é apresentada e detalhada a metodologia defendida nesta dissertação para uma previsão de consumo energético, com base nas informações e conhecimentos adquiridos anteriormente.

Posteriormente, no quarto capítulo é aplicado a metodologia num caso real. Através dos dados providenciados pela empresa RVE.SOL são comparados os dados reais com os obtidos pela aplicação da metodologia para a previsão do consumo energético. Por fim é ainda utilizado a ferramenta *LoadProGen* para comparar os perfis de carga obtidos através do método com os da previsão energética elaborada na presente dissertação.

No último capítulo são discutidas as conclusões e os resultados obtidos referindo-se algumas possíveis melhorias ao método apresentado, tal com algumas sugestões para trabalhos futuros.

## Capítulo 2 - Estado de Arte

A previsão do consumo energético para uma comunidade rural na AS é um subtema relativamente recente no tema do dimensionamento de mini-redes *off-grid*. Até ao início do século XXI, não existiam avanços tecnológicos, nem comerciais, necessários para a implementação de sistemas *off-grid* logo os esforços para a previsão do consumo energético consideravam-se efémeros. No entanto, sempre existiram tentativas de determinar a previsão do consumo energético para as comunidades rurais a curto e médio prazo. A não existência de uma base padrão para implementação de sistemas *off-grid* na África subsariana [14], têm levado a que esforços de desenvolvimento de métodos de previsão do consumo energético fiquem ao cabo das empresas que irão desenvolver e gerir as mini-redes. Atualmente, apesar de se dispor dos meios tecnológicos para a utilização de novos métodos de previsão do consumo energético, os mesmos são muitas vezes realizados de forma sigilosa pelas empresas que operam nestes meios. Os subcapítulos seguintes consistem na caracterização considerada nesta dissertação para uma mini-rede *off-grid* tal como os seus componentes fundamentais. Para além disso, são apresentados alguns dos métodos utilizados na previsão do consumo energético (históricos e atuais), tal como as empresas que os colocam em prática na África subsariana.

### 2.1. Caracterização de uma Mini-Rede *Off-Grid* na África Subsariana

Devido ao escasso conhecimento sobre este tema por parte das sociedades, não existe uma definição oficial para o termo “Mini-rede em contexto rural”. No contexto esta dissertação pode-se considerar uma mini-rede na África subsariana como um sistema que produz de forma descentralizada energia elétrica e a distribui pela comunidade em que está inserida. Esta mini-rede normalmente utiliza fontes de energia fóssil e/ou fontes de energia renovável. Tipicamente os sistemas utilizam as duas fontes de energia, caracterizando-se por híbridos. É interessante perceber as diferenças entre o tipo de redes elétricas presentes nos países africanos com as presentes nos países europeus, como se demonstra na Figura 2.1 para perceber o interesse da utilização de mini-redes no continente africano.

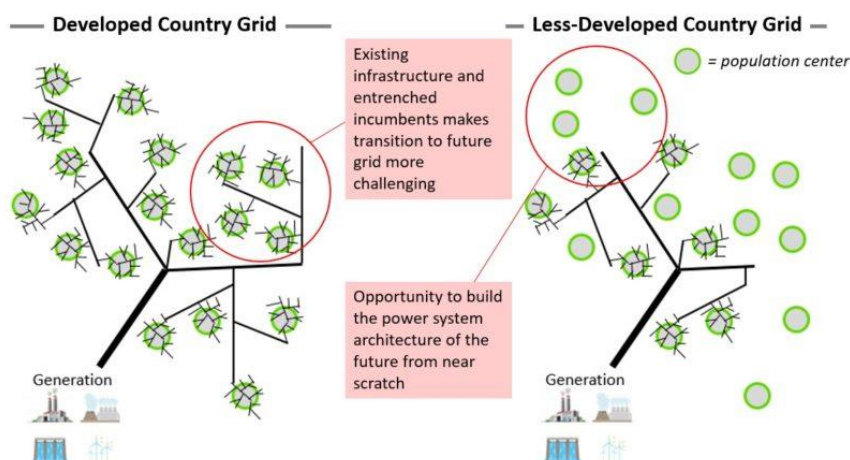


Figura 2.1 – Comparação entre rede elétrica de país desenvolvido e em desenvolvimento [15].

Ao contrário das redes elétricas encontradas nos países, designados, desenvolvidos que foram projetadas, desenvolvidas e testadas há muito. As redes elétricas africanas são, relativamente, recentes e podem, tecnicamente, ser pioneiras na melhoria de descentralização, fornecimento e qualidade em relação às encontradas em outros locais. Ao não estarem dependentes de locais centrais e longínquos de produção de eletricidade as mini-redes são a solução ideal para a redução de custos relacionados com a transmissão de energia desde a sua “fonte” até ao seu “consumo” na África subsariana. Assim é possível para os países africanos ser mais uma vez pioneiros, tal como aconteceu com o uso das telecomunicações para pagamentos [16], no desenvolvimento e utilização das intituladas mini-redes futuras ou inteligentes, que apresentam geração, armazenamento e contadores inteligentes.

As mini-redes predominantes na África subsariana apresentam uma fonte principal renovável (normalmente uma solução solar) e um grupo gerador (gasóleo) como apoio em condições extremas para a produção de energia elétrica. A potência instalada varia entre 5kW e 300kW. No seu cerne uma mini-rede deve: garantir um fornecimento contínuo e qualidade na distribuição de eletricidade; apresentar componentes para a monitorização e controlo de toda a rede com foco nos pontos de consumo.

As formas de pagamento tradicionais não são eficazes neste contexto rural devido à sua localização, inexistência de entidades bancárias e características sociais. Então, uma mini-rede neste contexto deve também apresentar uma forma de pagamento viável, segura e de confiança, garantindo transparência no fornecimento de eletricidade. À semelhança de grande parte dos países da África oriental, também as empresas que providenciam estas mini-redes optam pelo pagamento através do uso do telemóvel devido à sua praticidade e segurança [17]. Em outras regiões da África subsariana, este método ainda não é amplamente utilizado. O método de fornecimento de energia elétrica é muitas vezes através de PAYG (*pay as you go*), que permite às empresas controlar o fornecimento de energia elétrica aos clientes. Através do uso de *smart meters* (contadores inteligentes) é possível saber o consumo dos clientes, praticamente em tempo real. Assim, é possível, parar o fornecimento de energia elétrica a qualquer momento aos clientes, quando estes ultrapassam o limite do seu tarifário. A utilização dos pagamentos através de telemóveis em conjunto com o PAYG é o método mais indicado, atualmente, para as mini-redes *off-grid* na África subsariana.

Uma avaliação de carga adequada tal como consequentemente um dimensionamento apropriado, são essenciais para o *design* da mini-rede, já que a viabilidade económica do projeto de mini-rede depende do tamanho do sistema instalado. Estas mini-redes têm vindo a ser implementadas na eletrificação rural com vários graus de sucesso sendo a maior causa de insucesso a incapacidade de se obter o retorno do investimento inicial. Este problema é o mais difícil que as mini-redes elétricas enfrentam atualmente [18].

O investimento neste tipo de sistemas tem então de considerar todos estes fatores já que, como em todos os tipos de investimentos, é expectável que este vá sendo recuperado ao longo dos anos seguintes. Em alguns países da África subsariana já existem algumas linhas de orientação para o funcionamento de sistemas *off-grid*, mas não se aprofundam da mesma forma em criar o mesmo tipo de diretrizes sobre a implementação e análise das mesmas [19]. Um sistema mal configurado *a priori*, muito grande ou muito pequeno, vai consequentemente não recuperar o custo de investimento para o montar e/ou não servir o seu propósito inicial.

Num sistema sobredimensionado é necessário um investimento inicial maior o que consequentemente causa um tempo de recuperação do investimento maior. Para além disso também leva a um custo de manutenção e operação maior do que o necessário logo a eficiência irá ser menor.

Uma carga maior também implica um maior número de clientes o que leva a uma distribuição da dependência dos clientes diminuindo assim o risco do projeto. No caso de um sistema subdimensionado este irá apresentar-se como uma fonte não viável, levando consequentemente a uma redução da qualidade do serviço e até a apagões. Esta queda na qualidade do serviço leva a uma insatisfação dos clientes o que poderá levar a uma maior resistência às tarifas impostas ao uso da eletricidade. Ademais os componentes do sistema vão sofrer devido ao mau dimensionamento, o que potencialmente poderá resultar também em custos de operação e de manutenção maiores. No caso da existência de uma carga menor, como é expectável nos sistemas de mini-redes na África subsariana, será ainda mais importante a previsão do consumo energético do sistema já que o custo por utilizador será maior.

É assim, crucial estimar o consumo que a população da área estudada irá apresentar, já que com o intuito de dimensionar uma mini-rede financeiramente sustentável o comportamento da carga a curto e longo prazo tem que ser compreendido. Comportamentos a longo prazo influenciam as estratégias de expansão de capacidade da rede e comportamentos a curto prazo influenciam a tecnologia implementada e a escolha de fontes de energia [20]. O bom funcionamento de mini-redes está intrinsecamente ligado à previsão do consumo energético, sendo bastante influenciado pela forma e eficácia com que é realizado a previsão, como foi referido anteriormente. No próximo subcapítulo são referidos os componentes de uma mini-rede *off-grid*.

### **2.1.1. Componentes de uma Mini -Rede *off-grid***

Idealmente uma mini-rede adaptada para a África subsariana deve dispor dos constituintes seguintes:

- Painéis fotovoltaicos – Captar a energia solar;
- Inversores de rede – Converter a CC em CA;
- Banco de Baterias – Armazenar a energia elétrica produzida em excesso;
- Inversor de Baterias – Converter a CA em CC;
- Gerador a Gasóleo – Produzir energia elétrica;
- Quadro de Distribuição – Ligação entre o sistema e a rede de distribuição;
- Rede de distribuição – Cabos e postes que levam a energia elétrica até aos clientes;
- Contadores Inteligentes – Identificam e controlam os padrões de utilização dos clientes;
- Unidade Central de Processamento – Recebe os dados dos contadores inteligentes e envia-os para a empresa proprietária da mini-rede.

Todos os componentes mencionados são indispensáveis para uma mini-rede localizada na África subsariana. Na Figura 2.2 pode-se observar um exemplo simplificado de uma mini-rede *off-grid*.



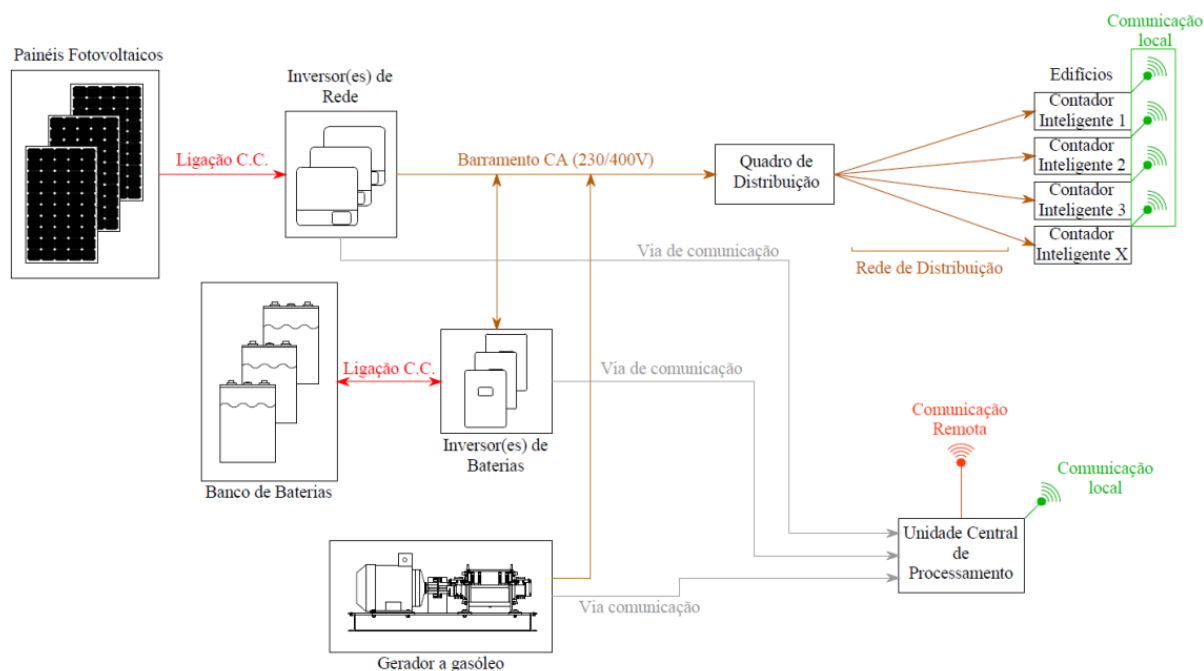


Figura 2.2 - Exemplo dos constituintes de uma Mini-Rede *Off Grid* [21].

O exemplo presente na figura anterior pode e deverá ser modificado consoante as características e necessidades da vila. Por exemplo, os painéis solares podem ser substituídos por soluções hídricas, sistemas de biomassa, turbinas eólicas, etc. É de referir que esta mini-rede, é considerada como uma mini-rede inteligente, ou seja, apresenta características que permitem um melhor controlo sobre a mesma. Desde os contadores inteligentes que são fundamentais para melhor compreender e controlar as necessidades energéticas de cada um dos clientes, até à unidade central de processamento que permite enviar todo o tipo de dados remotamente para qualquer sítio do mundo. Estas características são fundamentais para o sucesso de uma mini-rede *off-grid* no século XXI a longo prazo, já que a implementação de inovações tecnológicas permite um acesso, quase em tempo real, aos consumos e funcionamento dos sistemas, podendo as empresas, tomar medidas que mitiguem erros e problemas, antes dos mesmos acontecerem. Seguidamente são enumeradas algumas das alternativas viáveis à implementação de mini-redes *off-grid* nas comunidades rurais da África subsariana.

### 2.1.2. Alternativas às Mini-redes *off-grid*

- **Aumento da Rede elétrica nacional**

Ao contrário dos países desenvolvidos em que a capacidade instalada varia entre 1500 e 3000W por habitante, na África subsariana a potência instalada para produção de eletricidade é de cerca de 100W por habitante [3]. Este problema de capacidade de produção de eletricidade aliado a uma fraca infraestrutura e serviço de fraca qualidade inviabilizam o aumento da rede elétrica dos países da África subsariana até às zonas rurais [22].

Para além disso, estas comunidades rurais encontram-se muitas vezes a dezenas de quilómetros da rede elétrica nacional logo seria necessário um enorme investimento na extensão da rede elétrica. Este aumento iria prejudicar os futuros consumidores que iriam sofrer um enorme aumento do preço da eletricidade fornecida.

Atualmente, devido a todos os problemas mencionados, o aumento da rede elétrica nacional não se coloca como uma alternativa adequada às mini-redes *off-grid* para as comunidades rurais.

- **Lanternas Solares portáteis e sistemas *pico-solar***

As lanternas solares portáteis e sistemas *pico-solar* (SPL) são alternativas a considerar para o uso em pequena escala. Este tipo de equipamentos apresentam uma pequena potência que permite alimentar uma lâmpada, um telemóvel ou até mesmo um eletrodoméstico de maiores dimensões. De facto, existe um enorme interesse na África subsariana neste tipo de sistemas.

As lanternas solares portáteis, Figura 2.3, apresentam normalmente, um módulo fotovoltaico, uma lâmpada LED e uma pequena bateria. A potência nominal destes equipamentos pode variar entre 2 a 10W. Estas apresentam como principal e único objetivo fornecer energia elétrica para iluminação de uma divisão das casas presentes nas comunidades rurais.



Figura 2.3 - Exemplos de Lanterna Solar Portátil e sistema *pico-solar* [23], [24].

Os sistemas *pico-solar* apresentam uma potência nominal superior às lanternas solares portáteis, entre 10 a 20W. Desta forma, estes podem, por exemplo, carregar um telemóvel e alimentar uma ou duas lâmpadas LED. Estes sistemas permitem já uma maior versatilidade na eletrificação de uma comunidade rural.

- **Sistemas solares domésticos (SHS)**

Os sistemas solares domésticos (SHS) apresentam dimensões e capacidades bastante superiores às lanternas solares portáteis e sistemas *pico-solar*. Os sistemas solares domésticos (SHS) podem apresentar potências na ordem dos 20 a 100W. Estes sistemas já permitem o fornecimento de vários eletrodomésticos de maiores potências já que podem apresentar vários módulos fotovoltaicos, Figura 2.4. No entanto, só fornecem corrente contínua (CC), o que limita o número de eletrodomésticos suportados, e apresentam-se como uma alternativa cara para a eletrificação de uma casa típica de uma comunidade rural. Para além disso devido à sua maior complexidade estes sistemas são difíceis de instalar e gerir por parte dos clientes, que não apresentam qualquer qualificação para a instalação dos mesmos.



Figura 2.4 - Exemplo de Sistema Solar doméstico (SHS) [25]

Tanto os sistemas solares domésticos (SHS) como os sistemas *pico-solar* apresentam baterias de lítio com tempo de vida útil de 2 a 5 anos. No fim da vida útil destes sistemas, não existem formas seguras e simples de reciclar os mesmos, levando a um aumento da quantidade de lixo eletrónico presente nestas comunidades rurais, o que causa a poluição do meio ambiente. África, apresenta atualmente um enorme problema relacionado com o lixo tecnológico, estimativas apontam que todos os anos, 1,3 milhões de baterias chegam ao fim de vida útil no continente africano [26]. Esta enorme quantidade de baterias leva à existência de enormes quantidades de lixo que não está a ser atualmente tratado, sendo colocado em lixeiras a céu aberto. Assim, nenhuma destas opções é uma possível alternativa, a longo prazo, para a implementação de mini-redes *off-grid* com grandes capacidades instaladas, que utilizam fontes de energia renováveis para fornecer energia elétrica a uma percentagem bastante elevada das populações, que habitam nestas comunidades rurais. No próximo subcapítulo são demonstrados alguns dos métodos, sugeridos ao longo dos anos, para uma melhor previsão do consumo energético para este tipo de mini-redes, tão peculiar.

## 2.2. Métodos de previsão de consumo energético

Historicamente a previsão do consumo energético em zonas rurais sempre apresentou incongruências em relação à realidade. Assim, ao adaptar métodos inapropriados que apenas resultam em ambientes diferentes, as tentativas de previsão do consumo energético nunca foram bem-sucedidas. Um método muito utilizado no século passado é o método de Velander [27]. Este método estima o consumo de pico para um grande grupo de utilizadores através de uma fórmula que relaciona a carga pico com a energia anual necessária (Equação 2.1).

$$P = \sum_j [k_{1j} \sum_i W_i + \sqrt{\sum_i (k_{2j}^2 \sum_i W_{ij})}] \quad (2.1)$$

onde as constantes empíricas,  $k_1$  e  $k_2$ , dependem do tipo de utilizador e da sua localização geográfica. É também considerado, acertadamente, que os consumidores não apresentam os mesmos hábitos energéticos sendo  $i$  o número de consumidores e  $j$  as várias classes.

A fórmula de Velander é bastante útil quando se pretende determinar o fator coincidente (normalmente apelido de coeficiente de simultaneidade), entre grupos de consumidores do mesmo tipo. Porém, nesta fórmula o tempo não é considerado e a relação entre consumidores de diferentes tipos não é muito precisa. Para além disso, a fórmula de Velander só pode ser aplicada a um tipo de carga, num determinado período de tempo.

Todavia, a principal limitação deste método é que, para habitações de baixo rendimento, predominantes em zonas rurais da África subsariana, o consumo de pico é sobrestimado até cerca de 500% o que inviabiliza a sua aplicação. Esta sobrestimação depreende-se do método de Velander ser desenvolvido para aplicação em locais de grande densidade populacional/consumo energético.

Outro método de destaque utilizado no século XX intitulado *After Diversity Maximum Demand* (ADMD) obtém-se através da Equação 2.2:

$$ADMD = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} E_i \quad (2.2)$$

ADMD, é definida como o consumo máximo por consumidor à medida que o número de consumidores  $n$ , que consomem  $E_i$ , se aproxima de infinito. Para este método ser razoavelmente preciso é necessária uma amostra de pelo menos 1000 consumidores com consumos quase homogêneos, daí não se conseguir aplicar este método a comunidades rurais [28]. De referir ainda a simulação de Monte Carlo, que se baseia no método de ADMD, mas que considera a natureza estocástica do consumo ao desagregar a carga em várias distintas, para cada cliente. No entanto, apesar de bem-sucedida em áreas residências, não se aplica ao ambiente rural da África subsariana com populações alvo muito menores [29].

Atualmente, existem muitas ferramentas para determinar e analisar a integração de fontes renováveis em sistema de energia estabelecidos em países desfavorecidos [30]. Exemplos de alguns dos mais utilizados atualmente são: *WASP* [31], que consegue analisar as necessidades de um aumento de capacidade do sistema; *HOMER* [32], que se baseia na otimização dos componentes técnicos e económicos de sistemas remotos (não conectados à rede elétrica); *TRNSYS16* [33], que se foca em projetos de pequenas dimensões para comunidades; *EMCAS* [34], que determina todo as

componentes de um mercado energético para uma determinada área. Não existem, contudo, ferramentas, grátis, abertamente utilizadas e consagradas para uma previsão do consumo energético fácil e rápido para um sistema de pequena/média dimensão na África subsariana.

Não obstante, existem muitos autores que mencionam maneiras de realizar previsões de consumo energético e dimensionamento de cargas para os meios rurais. Mandelli, desenvolveu uma ferramenta, *LoadProGen*, que permite determinar e caracterizar o diagrama de cargas diário para uma comunidade rural [35]. Este *software* ainda apresenta algumas limitações em termos de *input* de dados de consumo no programa, que serão mais detalhados no capítulo 4, quando este for testado com dados de consumo reais.

Blennow, defende a subdivisão das cargas da comunidade em cargas estocásticas e determinísticas que devem ser tratadas de forma diferente, com o uso de algoritmos que são utilizados na ferramenta intitulada *ESCoBox* [36]. Não obstante, a ferramenta usada por Blennow apresenta uma interface complicada e poucas opções de análise, sendo bastante rudimentar.

Ghafoor, utiliza as opiniões e conhecimentos de especialistas locais, para a previsão do consumo energético sem recolher dados individuais dos clientes [37]. Ao não se considerar os dados individuais dos futuros clientes retira-se um dos componentes mais importantes da previsão energética da equação o que pode apresentar graves problemas para o bom funcionamento deste método.

Zeyringer, utiliza dados de clientes já com acesso prévio a energia elétrica para determinar os hábitos de uma certa comunidade sem acesso a energia elétrica, não existindo qualquer separação entre os hábitos energéticos de comunidade para comunidade na mesma região [38]. Uma desvantagem nesta abordagem é a diferença que se pode fazer sentir nos hábitos de consumo energético de comunidades próximas. Como referido no Capítulo 1 cada país, região, comunidade, apresenta dificuldades e especificidades próprias que não se encontram em outros locais, logo uma previsão de consumo energético não se pode basear, apenas, nos conhecimentos adquiridos anteriormente em outros locais/projetos.

Fabini, utiliza regressões para determinar dados como o número de pessoas por agregado familiar e presenças de certos eletrodomésticos [39]. Estas regressões apesar de interessantes, baseiam-se em dados de há vários anos atrás, o que diminui a qualidade dos resultados obtidos.

Outro artigo, que não apresenta como intuito realizar uma previsão de consumo energético para uma comunidade rural, mas sim, demonstrar as diferenças entre o consumo energético real e o previsto pelos habitantes, é ainda de interesse mencionar neste subcapítulo. Hartvigsson, descobriu que, para uma comunidade rural na Tanzânia, existiu uma sobrestimação de entre 48% a 117% do previsto pela população em relação ao consumo energético real. A falta de conhecimento sobre o tipo de eletrodomésticos e a sua utilização aponta-se como o fator determinante para esta sobrestimação. Uma das soluções possíveis, apresentadas, para este problema é a melhoria dos inquéritos sobre os eletrodomésticos e uma maior consideração sobre a ocupação profissional dos inquiridos [40].

Os artigos e métodos citados anteriormente apresentam prós e contras sobre o tópico complexo de previsão de consumo energético. No entanto, a grande maioria não apresenta exemplos práticos, reais, sobre a implementação destes métodos no terreno.

No próximo subcapítulo são discutidas e enumeradas, algumas das empresas que realizam direta ou indiretamente a previsão do consumo energético nas comunidades rurais da África subsariana, com ênfase nas comunidades rurais do Quênia.

## 2.3. Práticas de previsão de consumo energético

A maioria das empresas que dimensionam e instalam as mini-redes não são normalmente as que desenvolvem a previsão do consumo energético para os seus sistemas. Existem, portanto, empresas de consultoria que prestam esses serviços. De facto, quase todos os atores no mercado das mini-redes são empresas recentes com menos de 5 anos de existência e por isso sem casos de estudo com dados que permitam avaliar as cargas para os primeiros 5 anos de atividade dos projetos (prazo mínimo a considerar para o dimensionado da mini-rede).

Um grande desafio destas empresas para a previsão do consumo energético é a incerteza, que resulta de adotar métodos e dados de outros países e continentes para a avaliação de carga, que não se enquadram nos aspectos sociais, económicos e culturais da África subsariana. Por outro lado, as empresas que se encontram no terreno por vezes não dispõem de meios suficientes para realizar um análise e avaliação de cargas completas nas zonas rurais, passando muitos dos dados a serem estimativas. A topografia e distâncias associadas com o terreno também são fatores que limitam os esforços, tendo os entrevistadores de se deslocarem aos locais que muitas vezes se encontram a dezenas de quilómetros de distância da rede de estradas nacionais.

Por fim, o fator tempo é também bastante importante já que, normalmente, a regra que se estabeleceu é a permanência nas zonas rurais durante um dia ou muitas vezes uma manhã ou uma tarde; este tempo não é suficiente devido à dispersão da população e ao seu quotidiano, tornando impossível entrevistar todas as pessoas em tão curto espaço de tempo. Todos estes obstáculos acentuam os esforços das empresas, muitas vezes *startups*, que pretendem realizar previsões de consumo energético com o intuito de instalar mini-redes *off-grid*.

Seguidamente são referidas algumas das empresas com um maior impacto na projeção e implementação de mini-redes na África subsariana, nomeadamente no Quênia.

### 2.3.1. Powerhive

Powerhive, foi a primeira empresa a receber licença para implementar uma mini-rede *off-grid* da Comissão de Regulação para a Energia no Quênia (CREQ) o que lhe permite gerar, distribuir e vender eletricidade, fora da rede nacional, ao público [41].

A abordagem desta empresa para a previsão do consumo energético de uma comunidade passa pela utilização de um *software* proprietário, *Site Wizard for Analysis, Reconnaissance, and Mapping* (SWARM) [42], que permite através de dados financeiros, técnicos e geoespaciais determinar locais viáveis para a implementação do sistema, tal como o seu desenho e uma estimativa do seu tamanho. Com este *software* a Powerhive pretende acelerar o processo de aquisição de clientes e reduzir drasticamente os custos de desenvolvimento dos projetos [43]. De referir que a Powerhive não envia uma equipa para investigar o local e realizar a previsão de consumo energético, baseando-se maioritariamente no *software*.

### 2.3.2. POWERGEN

A POWERGEN foi criada em 2012 e já instalou cerca de 35 mini-redes na África subsariana, em múltiplos países da região, sendo uma das empresas atualmente mais bem-sucedidas. Um exemplo é demonstrado na Figura 2.5. Ao contrário da maioria de empresas que operam nestes países, a POWERGEN não se apoia em consultoras e desloca-se ao local para realizar inquéritos na comunidade para perceber o potencial da mesma para a implementação de uma mini-rede energética. Apesar de mais vagaroso este método, aparenta, ser mais eficaz do que os praticados por outras empresas [44].



Figura 2.5 - Exemplo de um Sistema de geração PV “PowerBox” em Nkoilale, Quênia [39].

### 2.3.3. SteamaCo

Este empreendedor, fundado em 2012, foca-se no desenvolvimento de tecnologias para controlo e monitorização de sistemas, consumos e pagamentos de forma remota. A SteamaCo vende este *hardware* a donos de mini-redes e aluga o software com um custo mensal. O foco da empresa passa assim por serviços de consultoria e em estimar e os consumos energéticos para uma certa comunidade para um certo momento. Não trabalha ativamente em métodos de previsão de consumo energético futuros relegando essa tarefa para terceiros [45].

### 2.3.4. Rafiki Power

À imagem da Powerhive, a Rafiki Power também dispõe de uma base de dados com muitas comunidades rurais que são candidatas a receberem uma mini-rede. Uma equipa contratada localmente desloca-se ao local, juntamente com um membro da Rafiki Power e determinam o tamanho da vila, a quantidade de clientes que são esperados e consequentemente, a viabilidade de implementação da mesma. Depois de adquiridos os dados, podem então realizar o diagrama de cargas e decidir onde irão colocar a mini-rede. A empresa utiliza um *software* proprietário, *Advanced Mini-Grid Management Platform* (AMMP), que permite gerir todas as componentes da mini-rede



(pagamentos, comunicações com os clientes, consumos, etc.), depois da previsão do consumo energético ter sido feita e o sistema já instalado [46].

Uma grande mais-valia da Rafiki Power é a instalação de um quiosque dentro do próprio contentor que enviam para a comunidade com os componentes da mini-rede. Este quiosque permite à empresa empregar um membro da comunidade e vender alguns eletrodomésticos, que as pessoas utilizam nas suas casas, como por exemplo: lâmpadas, tomadas elétricas, telemóveis, entre outros. Um exemplo de um quiosque deste género está representado na Figura 2.6. Este fornecimento de equipamentos é essencial para o sucesso da mini-rede a longo prazo, já que muitas vezes a implementação de eletrodomésticos não compatíveis com a rede levam a interrupções na energia fornecida ou mesmo a curtos circuitos.

O controlo do tipo de eletrodomésticos e das suas potências permite também uma melhor previsão do consumo energético, ao se diminuir as incertezas sobre a existência de certos eletrodomésticos nos agregados familiares.



Figura 2.6 - Quiosque de venda de Eletrodomésticos criado pela Rafiki Power, Tanzânia [42].

### 2.3.5. RVE.SOL

Esta empresa especializa-se em instalar e gerir mini-redes *off-grid* no Quênia. Este empreendedor é o parceiro desta dissertação sem o qual não se dispunham de dados e informações relevantes para o sucesso da mesma. Nomeadamente, os dados de consumo do projeto piloto (Kudura) em Sidonge no Quênia, representado na Figura 2.7, que se encontra em funcionamento desde 2011.

A RVE.SOL apresenta polivalências no âmbito da previsão do consumo energético utilizando vários métodos de a realizar de forma bem-sucedida. Tipicamente, devido à sua pequena dimensão, recorre a empresas exteriores para realizar os inquéritos nas comunidades e posteriormente trabalha com esses dados, fazendo uma avaliação metódica dos mesmos. Em 2017, a RVE.SOL recorreu à empresa, *Innovation Energie Développement* (IED) – cuja principal área de trabalho é de consultoria energética e que se encontra no mercado desde 1988 [47] – para realizar os inquéritos no terreno e realizar um exemplo de previsão de consumo energético para várias comunidades. Mais tarde, a RVE.SOL aplica os seus próprios métodos e suposições aos dados apresentados pela IED. Ao já ter realizado previsões de consumo energético a cerca de 147 comunidades, a RVE.SOL consegue



analisar os dados providenciados pela IED de uma forma metódica e objetiva, que permite diminuir o número de incongruências que a IED possa ter demonstrado na sua previsão.

Ao analisar um grande número de comunidades onde se pretende instalar uma mini-rede, é muito mais fácil relegar toda essa pesquisa e trabalho para outra empresa e posteriormente, considerar apenas, por exemplo, os cinco melhores locais para a instalação da mesma. A relegação desta tarefa para terceiros pode ser benéfica (rapidez do processo) e prejudicial (veracidade dos dados pode ser alterada ou perdida facilmente) aos esforços de eletrificação, sendo o ideal ser a própria RVE.SOL a realizar todo o processo.

No entanto, à falta de uma melhor solução, o uso de terceiros para acelerar o processo de escolha do local e dimensionamento do sistema, é bastante benéfico tendo em conta as rápidas variações sociais e económicas que se fazem sentir nestas comunidades ou regiões.



Figura 2.7 - Sistema Kudura, instalado em Sidonge, Quênia.

É interessante entender que tanto para as empresas como para os métodos, citados anteriormente, não existe ainda um método que se considere universal e infalível para uma previsão do consumo energético para uma comunidade rural na África subsariana.

Os capítulos em que se desenvolve a metodologia, defendida nesta dissertação, ideal para uma correta previsão do consumo energético de uma comunidade rural, tal como o capítulo em que este método é aplicado num caso real foram omitidos desta versão pública. Não obstante, seguidamente, no capítulo 3 são consideradas algumas conclusões do trabalho desenvolvido tal como uma breve análise de desenvolvimentos futuros a curto e médio prazo para este tema.

## Capítulo 3 - Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

Este presente capítulo serve para rever todas as premissas defendidas nesta dissertação, refletir sobre os obstáculos encontrados e analisar se os objetivos foram cumpridos. São ainda referidos vários tópicos que surgiram ao longo da dissertação que podem ser interessantes para trabalhos e dissertações futuras.

### 3.1. Conclusões

Primeiramente é mais uma vez relevante mencionar as dificuldades inerentes à previsão de consumo energético para uma comunidade *off-grid* na África subsariana. Escassez e/ou fidelidade de dados, dificuldade de movimentação no terreno, falta de cultura energética entre outros fatores, tornam uma tarefa que seria tipicamente fácil num país desenvolvido, extremamente difícil para zonas rurais na África subsariana. Relevante também perceber que apesar de existirem muitos métodos publicados e empresas que realizam previsões energéticas, não existe um método que seja simples, fácil de realizar e aceite internacionalmente que se considere 100% infalível no que toca a este tema. Este tema, discutido nesta dissertação, só se tornou importante para o planeamento e posterior construção de uma mini-rede *off-grid* há muitos poucos anos, sendo apenas brevemente mencionado no século passado devido aos inúmeros fatores referidos ao longo desta dissertação.

A fidelidade dos dados recolhidos *a priori* da previsão energética é talvez a parte mais difícil de realizar em toda a metodologia de previsão de consumo energético. O relegar dos inquéritos para terceiros muitas vezes, leva a muitas inconsistências nos dados recolhidos. Estes terceiros muitas vezes estão poucos dias, ou mesmo horas, nas comunidades que estão a ser estudadas, não conseguindo absorver todas os aspetos sociais e económicos que não se conseguem colocar nos inquéritos. Relações hierárquicas, costumes e mentalidade dos futuros clientes são aspetos que dificilmente se conseguem traduzir para os resultados dos inquéritos, sendo necessárias outras medidas para melhor perceber estas diferenças. Frequentemente, comunidades vizinhas ou próximas apresentam *nuances* que não são percebidas sem uma maior permanência no local, logo a permanência da equipa que realiza os inquéritos na comunidade durante pelo menos uma semana, seria a melhor maneira de colmatar estas falhas. Também a ajuda dos chefes ou pessoas relevantes na comunidade (donos de negócios, padres, etc.) mitiga os erros associados a este processo tão complicado.

Futuramente são expectáveis enormes mudanças nas comunidades rurais da África subsariana. A chegada da globalização a estes locais, muitas vezes remotos, fomenta mudanças sociais e económicas rápidas e drásticas que têm de ser tomadas em conta e controladas, de maneira a melhorar a vida das pessoas que aqui habitam. A energia elétrica e a *internet* são talvez as duas forças que irão influenciar os próximos 20 anos desta região e do continente como um todo.

A apresentação dos componentes de uma mini-rede *off-grid*, tal como da metodologia para a previsão de consumo energético da mesma, são fruto de inúmeras horas de pesquisa e análise de outros trabalhos publicados. O suporte da empresa RVE.SOL foi fundamental para melhor perceber as dificuldades inerentes ao tema desta dissertação. Também o caso de estudo de Sidonge, foi bastante importante para comparar os dados obtidos com os dados de consumo reais.

Através da metodologia desenvolvida nesta dissertação foram desenvolvidas duas hipóteses para os valores de consumo médio, para a comunidade de Sidonge. Estas duas hipóteses diferem apenas nas potências de eletrodomésticos utilizados na comunidade. Através de trabalhos analisados e dos inquéritos realizados em Sidonge, consideraram-se potências baixas e elevadas para os eletrodomésticos das hipóteses 1 e 2, respetivamente. Através deste método seria de esperar que o consumo real estivesse, sensivelmente, entre os considerados nas duas hipóteses, já que estas se podem considerar situações extremas. Assim foram identificados os consumos para os vários tipos de clientes que estão presentes nesta comunidade.

Considerando três categorias de clientes (habitações, SME e públicos) foram calculados os consumos médios (em kWh) por mês para cada cliente. Para a hipótese 1, obtiveram-se os consumos de cerca de 5,7, 14,7 e 7,2 kWh por mês para cada cliente, para as categorias de habitações, SME e públicos, respetivamente. Na hipótese 2 os consumos obtidos foram 8,8, 21,8 e 10 kWh por mês e cliente, pela mesma ordem anterior. Enquanto isso, no caso real, analisado pela RVE.SOL, os consumos ao longo dos 14 meses do projeto foram em média de 6,4, 10 e 9 kWh por mês por cliente, ordenadamente. Apenas os valores de consumo para os SME não se encontravam dentro dos obtidos na hipótese 1 e 2, existindo uma considerável sobrestimação do consumo. Não existe uma razão óbvia para esta sobrestimação, tendo sido formuladas algumas hipóteses que possam estar na origem da mesma como por exemplo: a menor permanência da população nos SME durante o dia ou mesmo, uma possível saída de alguns agregados familiares da comunidade que podem ter impactado o consumo dos SME da comunidade.

No total para as hipóteses 1 e 2 foram calculados os valores de 28 e 41 kWh por mês por cliente, respetivamente, enquanto na realidade a média mensal foi de 25 kWh por cliente. Não obstante, o método desenvolvido obteve os resultados espectáveis e pode ser considerado um sucesso, tendo em conta, as características do local onde está a ser implementado.

Para além da previsão de consumo energético, foi também feita uma análise sobre como este variou, em Sidonge, ao longo de todo o projeto (14 meses, 2 meses e uma semana). A sazonalidade do consumo nestas regiões é influenciada pelas colheitas na agricultura que afetam a capacidade dos clientes de pagar (ATP). No entanto, a agricultura não influenciou de forma expressiva a variação do consumo, já que este decresceu ao longo dos 14 meses do projeto. Foram então comparados dois meses, dezembro de 2016 e junho de 2017, para se tentar perceber a variação do consumo e as causas do mesmo. Notou-se que o consumo em dezembro era bastante imprevisível ao longo do mês enquanto em junho já se encontrava mais previsível.

Além do mais, o consumo energético em dezembro era sensivelmente o dobro do de junho. Esta melhoria na previsibilidade do consumo, entre dezembro e junho, baseia-se na melhor habituação dos clientes no seu dia-a-dia à utilização de energia elétrica. Ainda que cerca de metade dos clientes já dispunham de energia elétrica desde 2011 através do projeto-piloto em Sidonge, estes seis meses de diferença entre os dois meses estudados, demonstram uma enorme mudança no tipo de estilo de consumo dos clientes. Esta passagem de um consumo energético disperso sem padrões, em dezembro, para um consumo mais ponderado e previsível, em junho, prova que, por mais palestras e aulas que se dê aos futuros clientes, apenas através da interação com energia elétrica com a componente de tarifários incluída se consegue realmente formar os clientes sobre a utilização de energia elétrica.

Para terminar a análise da variação de consumo, considerou-se a variação ao longo de todas as semanas de dezembro e junho e comparou-se ao consumo semanal previsto nas hipóteses 1 e 2. O mais interessante nesta comparação foi perceber que a hipótese 2 se aproximava mais do consumo

em dezembro enquanto a hipótese 1 se assemelhava ao mês de junho. No entanto, é relevante notar que não existe uma grande discrepância de consumo entre os dias de semana e o fim de semana como se suponha inicialmente nas hipóteses propostas.

Depois de terminada a análise da variação do consumo em vários períodos de tempo recorreu-se ao *software* LoadProGen para se encontrar um perfil de cargas diário, para validar ainda mais, os perfis desenvolvidos nas hipóteses 1 e 2. O *software* permite criar vários perfis a partir dos mesmos dados (tipos de eletrodomésticos, tempo de utilização, etc.). Ao utilizar o *software*, este apresentava uma enorme disparidade de resultados no pico de consumo diário, sendo o mesmo cerca de 4 vezes maior no perfil 1 (um dos perfis criado pelo *software*) em relação à hipótese 2 (eletrodomésticos com maior potência). Muitos erros podem estar na origem desta enorme sobrestimação do perfil de consumo, que se assemelha mais a um consumo numa comunidade de um país desenvolvido que uma comunidade rural deste género.

Um deles pode ser a consideração de até três “janelas” de funcionamento para cada tipo de eletrodoméstico, ou seja, por exemplo, uma lâmpada só pode estar a funcionar três vezes por dia em horários diferentes. Esta limitação é bastante relevante se se considerar máquinas de barbear e outros tipos de eletrodomésticos que estão constantemente a ser ligados e desligados ao longo de um dia típico. No entanto a ferramenta utilizada, apenas se encontrava na primeira versão logo são expectáveis várias melhorias em versões posteriores. Contudo esta permitiu perceber, como muitas ferramentas deste género funcionam e como podem ser melhoradas através de pequenas alterações que aumentam a sua precisão.

### 3.2. Desenvolvimentos Futuros

Em pleno século XXI é impressionante o quanto ainda falta perceber sobre as comunidades rurais da África subsariana e melhorar as abordagens utilizadas na previsão de consumo energético das mesmas.

É de enorme importância continuar a melhorar os métodos e práticas que são empregues, não só na construção de mini-redes *off-grid*, como nos métodos de previsão de consumo energético em si.

Será bastante interessante utilizar a metodologia descrita nesta dissertação e usá-la em outra mini-rede *off-grid* em outra comunidade rural ou país da África subsariana e perceber o quanto os resultados da previsão serão semelhantes, ou porventura diferentes, dos obtidos para o caso particular de Sidonge.

Outro tópico interessante seria analisar o quanto a implementação de quiosques de vendas de eletrodomésticos providenciados pela empresa, na comunidade, iriam afetar o consumo energético a curto e médio prazo. Consequentemente, seria ainda mais interessante, analisar o que este fator influenciaria os esforços de previsão de consumo energético para outras comunidades em que a mesma empresa pretendesse instalar novas mini-redes.

Para além destas sugestões, a integração bem-sucedida de PEU (soldaduras, *posho mills*) nas mini-redes *off-grid* seria em si, uma enorme vitória para a eletrificação em África, visto que atualmente este se encontra como um dos maiores desafios para a implementação de mini-redes. Estes consumidores que tipicamente necessitam de elevadas potências para os seus eletrodomésticos

(máquinas de moagem de cereais), são consumidores determinantes para o desenvolvimento das comunidades e qualidade de vida dos seus habitantes.

Por fim, um maior foco no trabalho feito no terreno, anteriormente ao tratamento dos dados recolhidos nos inquéritos, poderia impactar de forma muito positiva a qualidade e precisão das previsões de consumo energético que se poderão vir a realizar neste tipo de comunidades rurais, tão características e peculiares da África subsariana.

## Referências Bibliográficas

- [1] A. Castellano, A. Kendall, M. Nikomarov, and T. Swemmer, “Brighter Africa,” *McKinsey Co. Mon. J.*, no. February, pp. 4–8, 2015.
- [2] Innovation Energie Developpement, “Market study on available financial instruments in support of GMGs and assessment of GMG developer needs .,” no. January, p. 1-, 2017.
- [3] International Energy Agency, “Africa Energy Outlook,” pp. 1–233, 2014.
- [4] Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) Gmbh, “What size shall it be ?,” 2016.
- [5] H. Louie, E. O’Grady, V. Van Acker, S. Szablya, N. P. Kumar, and R. Podmore, “Rural Off-Grid Electricity Service in Sub-Saharan Africa,” *IEEE Electrifi. Mag.*, vol. 3, no. 1, pp. 7–15, 2015.
- [6] Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) Gmbh, “Where shall we put it ?,” 2016.
- [7] Y. Wolde-Rufael, “Electricity consumption and economic growth: A time series experience for 17 African countries,” *Energy Policy*, vol. 34, no. 10, pp. 1106–1114, 2006.
- [8] I. Ozturk, “A literature survey on energy-growth nexus,” *Energy Policy*, vol. 38, no. 1, pp. 340–349, 2010.
- [9] H. T. Jens Jaeger, David Lecoque , Marcus Wiemann, “AEEP Energy Access Best Practices 2016,” 2016.
- [10] S. Szabó, K. Bódis, T. Huld, and M. Moner-Girona, “Energy solutions in rural Africa: Mapping electrification costs of distributed solar and diesel generation versus grid extension,” *Environ. Res. Lett.*, vol. 6, no. 3, 2011.
- [11] Innovation Energie Developpement, “United Republic of National Electrification Program Prospectus,” no. July, pp. 1–92, 2014.
- [12] P. Cook, “Infrastructure, rural electrification and development,” *Energy Sustain. Dev.*, vol. 15, no. 3, pp. 304–313, 2011.
- [13] Energy Regulatory Commision, “ERC - Our Mandate,” *Regulating Petroleum, Electricity and Renewable Energy Sectors in Kenya*, 2018. [Online]. Available: <https://www.erc.go.ke/about/>. [Accessed: 18-Jun-2018].
- [14] United Nations Development Programme, “Standardized Baseline Assessment for Rural Off-Grid-Electrification in Sub-Saharan Africa A standardization tool to streamline and simplify the CDM project cycle,” p. 53, 2013.
- [15] PowerGen Renewable Energy, “The global future of power,” 2016. [Online]. Available: <http://www.powergen-renewable-energy.com/micro-grids-for-the-future-of-power/>. [Accessed: 02-Mar-2018].
- [16] African Payment Solutions, “M-Pesa,” 2016. [Online]. Available: <https://africanpaymentsolutions.com/products/mpesa/>. [Accessed: 24-Feb-2018].
- [17] K. Monks, “M-Pesa: Kenya’s mobile money success story turns 10,” *CNN*, 2017. [Online]. Available: <https://edition.cnn.com/2017/02/21/africa/mpesa-10th-anniversary/index.html>. [Accessed: 03-Mar-2018].
- [18] H. Ahlborg and L. Hammar, “Drivers and barriers to rural electrification in tanzania and mozambique - grid-extension, off-grid, and renewable energy technologies,” *Renew. Energy*, vol. 61, pp. 117–124, 2014.
- [19] Tanzania Energy Development and Access Expansion Project (TEDAP), “Operating Guidelines - Small-Scale CDM Renewable Energy Program,” 2014.

- [20] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, “How do we license it?,” 2016.
- [21] B. Lopes, “A Evolução da Eletrificação Rural na África Subsariana: Das Mini-Redes às Mini-Redes Inteligentes,” Instituto Politécnico de Leiria, 2017.
- [22] Africa Progress Panel, “Lights Power Action: Electrifying Africa - Africa Progress Panel Report,” 2017.
- [23] R.S. Solartech India Pvt. Ltd., “Portable Solar Lantern,” 2016. [Online]. Available: [http://www.rssolartech.com/Ballia/solar\\_prd2.php](http://www.rssolartech.com/Ballia/solar_prd2.php).
- [24] International Finance Corporation, “Lighting Africa Market Trends Report 2012 - Overview of the Off-Grid Lighting Market in Africa,” 2012.
- [25] Africa21, “Empresa britânica de energia solar investe no mercado doméstico africano,” 2016. [Online]. Available: <http://www.africa21online.com/artigo.php?a=18534&e=Economia>.
- [26] G. Kuepou, “The deadly business – Findings from the Lead Recycling Africa Project,” *Oeko-Institut e.V.*, 2016. [Online]. Available: <https://www.oeko.de/oekodoc/2549/2016-076-de.pdf>.
- [27] G. Brännlund, “Evaluation of two peak load forecasting methods used at Fortum,” 2011.
- [28] C. Barteczko-Hibbert, “After Diversity Maximum Demand (ADMD),” 2015.
- [29] D. H. O. McQueen, P. R. Hyland, and S. J. Watson, “Monte Carlo Simulation of Residential Electricity Demand for Forecasting Maximum Demand on Distribution Networks,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 19, no. 3, pp. 1685–1689, 2004.
- [30] C. Blodgett, P. Dauenhauer, H. Louie, and L. Kickham, “Accuracy of energy-use surveys in predicting rural mini-grid user consumption,” *Energy Sustain. Dev.*, vol. 41, pp. 88–105, 2017.
- [31] International Atomic Energy Agency, “Planning and Economic Studies Section (PESS).” [Online]. Available: <https://www.iaea.org/topics/energy-planning/energy-modelling-tools>. [Accessed: 22-Mar-2018].
- [32] T. Lambert, P. Gilman, and P. Lilienthal, “Micropower System Modeling with Homer,” *Integr. Altern. Sources Energy*, pp. 379–418, 2006.
- [33] Solar Energy Laboratory Univ. of Wisconsin-Madison, TRANSSOLAR Energietechnik GmbH, CSTB – Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, and TESS – Thermal Energy Systems Specialist, “Trnsys 18.” 2017.
- [34] Argonne National Laboratory, “Electricity Market Complex Adaptive System (EMCAS),” 2008.
- [35] S. Mandelli, C. Brivio, M. Moncecchi, F. Riva, G. Bonamini, and M. Merlo, “Novel LoadProGen procedure for micro-grid design in emerging country scenarios: Application to energy storage sizing,” *Energy Procedia*, vol. 135, pp. 367–378, 2017.
- [36] H. Blennow and S. Bergman, “Method for Rural Load Estimations - A case study in Tanzania,” *Div. Energy Econ. Planning, Dep. Heat Power Eng. Lund Univ. Lund, SWEDEN*, no. October, pp. 1–5, 2004.
- [37] A. Ghafoor and A. Munir, “Design and economics analysis of an off-grid PV system for household electrification,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 42, pp. 496–502, 2015.
- [38] M. Zeyringer, S. Pachauri, E. Schmid, J. Schmidt, E. Worrell, and U. B. Morawetz, “Analyzing grid extension and stand-alone photovoltaic systems for the cost-effective electrification of Kenya,” *Energy Sustain. Dev.*, vol. 25, pp. 75–86, 2015.
- [39] D. Fabini, D. Ponce, D. L. Baridó, A. Omu, and J. Taneja, “Mapping Induced Residential Demand for Electricity in Kenya,” 2014.
- [40] E. Hartvigsson and E. O. Ahlgren, “Comparison of load profiles in a mini-grid: Assessment

- of performance metrics using measured and interview-based data,” *Energy Sustain. Dev.*, vol. 43, pp. 186–195, 2018.
- [41] J. Parnell, “Microgrid firm Powerhive becomes Kenya’s first private utility,” 2015. [Online]. Available: <https://www.energy-storage.news/news/microgrid-firm-powerhive-becomes-kenyas-first-private-utility>. [Accessed: 19-Feb-2018].
- [42] PowerHive, “Technology - SWARM.” [Online]. Available: <http://www.powerhive.com/our-technology/>. [Accessed: 11-Mar-2018].
- [43] F. Solar, “Low Carbon Microgrid Long Case Study,” 2014.
- [44] PowerGen Renewable Energy, “The Future of Power in Africa : How Africa can Lead the Next Generation of Global Power Infrastructure,” 2016.
- [45] S. M. Hernandez, “Winner case study summary SteamaCo, Kenya,” 2015.
- [46] E.ON Off Grid Solutions GmbH, “AMMP The Advanced Mini-grid Management Platform,” 2015.
- [47] IED, “Sustainable Development: A long-standing conviction,” 2017. [Online]. Available: <https://www.ied-sa.fr/en/about-us/mission.html>. [Accessed: 02-Mar-2018].



